



Efeitos da atividade física na densidade mineral óssea e na remodelação do tecido ósseo

Eduardo Lusa Cadore¹, Michel Arias Brentano¹ e Luiz Fernando Martins Kruehl¹

RESUMO

Este artigo revisa os efeitos de diferentes modalidades esportivas e do treinamento de força na remodelação óssea e discutir as possíveis relações da densidade mineral óssea (DMO) com a força muscular e a composição corporal. Numerosos estudos indicam que a atividade física de alto impacto, ou que exija alta produção de força, pode ter um efeito benéfico na DMO, devido à deformação desse tecido, ocorrida durante a atividade. Alguns autores têm avaliado os efeitos do treinamento físico em alguns marcadores bioquímicos da remodelação óssea, já que a variação das concentrações desses marcadores pode indicar um estado de formação ou reabsorção óssea. Entretanto, a inconsistência dos resultados encontrados sugere que a análise dos efeitos da atividade física na remodelação óssea, através desses marcadores, deve ser mais investigada. Existem muitas discrepâncias a respeito da relação entre a DMO com a força muscular e a composição corporal, principalmente na determinação de qual desses fatores está mais associado com a DMO. A determinação de qual o tipo de atividade física seja ideal para aumentar o pico de massa óssea na adolescência, ou mesmo mantê-la após a idade adulta, é muito importante para a prevenção e o possível tratamento da osteoporose.

ABSTRACT

Effects of the physical activity on the bone mineral density and bone remodeling

The purpose of this article is to make a review on different sportive modalities and the power training on the bone remodeling, and to discuss the possible relationship of the bone mineral density (BMD) to the muscular power and body composition. Several studies indicate that the high impact physical activity or physical activities demanding a high power production may have a benefic effect on the BMD due to the deformation that occurs in such tissue during the activity. Some authors have been assessing the effects of the physical training on some biochemical markers of the bone remodeling, since the variation on the concentrations of these markers might indicate a bone turnover or reabsorption state. Nevertheless, the inconsistency of the results found suggests that the analysis of the effects of the physical activity on the bone remodeling through these markers must be further investigated. There are many discrepancies as to the relationship of the BMD to the muscular power and body composition, mainly to determine what factors are most associated to the BMD. The determination of what type of physical activity is the ideal to increase the bone mass peak during the adolescence or even aiming to keep it later in the adult years is quite important in order to prevent and possibly treat the osteoporosis.

Palavras-chave: Saúde óssea. Exercício físico. Marcadores bioquímicos. Composição corporal. Força muscular.

Keywords: Bone health. Physical exercise. Biochemical markers. Body composition. Muscular strength.

Palabras-clave: Salud ósea. Ejercicio físico. Marcadores bioquímicos. Composición corpórea. Fuerzas musculares.

RESUMEN

Efectos de la actividad física en la densidad mineral ósea y en la remodelación del tejido óseo

Este artículo busca revisar los efectos de modalidades deportivas diferentes y del entrenamiento de fuerza en la remodelación del hueso y discutir las posibles relaciones entre la densidad mineral del hueso (DMO) con la fuerza muscular y la composición corporal. Los numerosos estudios indican que la actividad física de alto impacto o que exige producción alta de fuerza, pueden tener un efecto beneficioso en la DMO, debido a la deformación que ese tejido, pasa durante la actividad física. Algunos autores han estado evaluando los efectos de la educación física en algunos marcadores bioquímicos de la remodelación del hueso, desde la variación de las concentraciones de esos marcadores que puedan indicar un estado de la formación o reabsorción del hueso. Sin embargo, la inconsistencia de los resultados encontrados, sugiere que el análisis de los efectos de la actividad física en el remodelación del hueso, a través de esos marcadores, debe investigarse más. Muchas diferencias existen con respecto a la relación entre la DMO con la fuerza muscular y la composición corporal, principalmente en la determinación de cual de esos factores está más asociada con la DMO. La determinación de que tipo de actividad física es ideal para aumentar el pico de masa del hueso en la adolescencia, o incluso mantenerla después de la edad adulta, es muy importante para la prevención y el posible tratamiento de la osteoporosis.

A densidade mineral óssea (DMO) é o resultado de um processo dinâmico de formação e reabsorção do tecido ósseo chamado de remodelação. A reabsorção causa a deterioração desse tecido enquanto a formação do mesmo é responsável pela reconstrução e fortalecimento do tecido deteriorado⁽¹⁾. Esse processo ocorre ao longo da vida em ciclos de quatro a seis meses de duração⁽²⁾.

A manutenção da DMO é muito importante para a prevenção da osteoporose, caracterizada por uma diminuição acentuada da DMO⁽³⁾, no qual a matriz e os minerais ósseos são perdidos devido ao excesso de reabsorção óssea em relação à formação⁽⁴⁾. Esse processo é normalmente associado ao avanço da idade e à ocorrência da menopausa⁽⁵⁾ e leva a uma maior incidência de fraturas⁽⁶⁾. Embora a perda óssea seja mais intensa nas mulheres^(5,7), os homens também apresentam uma diminuição devido a idade avançada⁽⁸⁾.

Numerosos estudos indicam que a atividade física está positivamente relacionada com a DMO, sendo um importante fator na sua manutenção^(5,9-14). Alguns estudos relacionam os efeitos de

1. Escola de Educação Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Recebido em 10/12/04. Versão final recebida em 8/8/05. Aceito em 5/9/05.

Endereço para correspondência: Eduardo Lusa Cadore, Rua Felizardo, 750, ESEF-UFRGS, Lapeix, sala 208, Jardim Botânico – 90690-200 – Porto Alegre, RS. Tel. (51) 3316-5820. E-mail: edcadore@yahoo.com.br

diversas modalidades esportivas na DMO de atletas ou indivíduos fisicamente ativos^(12,15,16). Entre esses estudos, alguns utilizam o treinamento de força como intervenção, na tentativa de aumentar a DMO de indivíduos submetidos a esse tipo de atividade física^(7,13,14,17). Geralmente, os mesmos estudos têm mostrado resultados positivos em relação à DMO^(8,15,17-23). Entretanto, apesar desse possível efeito benéfico, volumes muito grandes de treinamento podem ser prejudiciais à DMO. Esse prejuízo parece ter estreita relação com a perturbação da homeostase hormonal do organismo^(5,6,24).

Um método de avaliação que tem sido utilizado, com o objetivo de compreender o mecanismo fisiológico que provê o efeito osteogênico da atividade física, é a mensuração das concentrações de alguns marcadores bioquímicos de formação (i.e. secreção osteoblástica) e reabsorção óssea (i.e. subprodutos do colágeno ósseo) e suas variações em decorrência do treinamento. A possível variação dessas concentrações, poderia indicar um estado de anabolismo ou catabolismo ósseo⁽³⁾.

Embora a maioria dos estudos dê ênfase ao efeito do tipo de exercício físico na DMO, outros fatores também parecem interferir nessa variável, como por exemplo a força muscular⁽²⁵⁾ e a composição corporal^(6,19,26). Nessa perspectiva, independentemente do nível de atividade física, alguns estudos demonstraram que a DMO de indivíduos atletas de rendimento, fisicamente ativos, ou mesmo sedentários, aparenta possuir uma associação com sua força muscular, desenvolvida conforme seu tipo de exercício físico ou atividade diária, e sua composição corporal^(6,19,25,26).

Baseado nos aspectos abordados pelos estudos supracitados, pretende-se, através do presente artigo, revisar os efeitos de diferentes modalidades esportivas e do treinamento de força na saúde óssea, além de analisar seu possível mecanismo de ação benéfico ou deletério. Também pretende-se revisar os resultados obtidos com marcadores bioquímicos do metabolismo ósseo, como método de avaliação da remodelação óssea relacionada ao exercício físico, e a relação da DMO com outros componentes relacionados à saúde, como a força muscular e a composição corporal.

1. A AÇÃO DO EXERCÍCIO NA ESTRUTURA E REMODELAÇÃO ÓSSEA

É consensual na literatura especializada que atividades físicas de maior sobrecarga decorrente do peso corporal, bem como o treinamento de força, causem estímulos osteogênicos, devido ao aumento do estresse mecânico localizado nos ossos⁽¹⁾. Entretanto, o processo fisiológico responsável pela resposta a esse esforço não é claramente explicado.

Uma possível justificativa, segundo Brighton *et al.*, *apud* Menkes *et al.*⁽¹⁸⁾, para o aumento da DMO com o treinamento de força é o efeito piezoelétrico ósseo. Isso é sugerido pela presença de sinais bioquímicos que parecem refletir um campo elétrico, possivelmente decorrente da sobrecarga aplicada. Essa teoria se aplica a qualquer deformação ou sobrecarga óssea causada por compressão, tensão, torção ou cisalhamento desse tecido. Essas ações mecânicas geram diferenças no potencial elétrico dos ossos, que agem como um campo elétrico, estimulador da atividade celular, levando à deposição de minerais nos pontos de estresse (Lanyon, Hartman *apud* Menkes *et al.*⁽¹⁸⁾).

Entretanto, o efeito osteogênico decorrente da atividade física aparenta requerer um alto nível de treinamento, caracterizado por grande volume e intensidade. Com relação à prática de modalidades esportivas, Creighton *et al.*⁽¹⁾ afirmam que o fortalecimento ósseo ocasionado pelo estresse repetitivo, que ocorre durante o treinamento por longos períodos de tempo, pode não ser suficiente para aumentar a DMO em atletas não competitivos. Madsen *et al.*⁽¹⁹⁾ sugerem que a maior DMO observada em atletas possa ser decorrente do maior nível de atividade física praticada na adolescência, sugerindo uma DMO aumentada como consequência de

um treinamento de longo prazo. Já a respeito do treinamento de força, Pruitt *et al.*⁽¹³⁾ sugerem que a contração muscular, responsável pela deformação óssea, necessita ultrapassar um determinado limiar de esforço para estimular a remodelação tecidual. De fato, a DMO parece responder a uma intensidade maior de treinamento, tanto em modelo humano⁽³⁾, quanto animal⁽²⁷⁾.

Segundo Andreoli *et al.*⁽¹⁵⁾, a respeito da remodelação óssea, na indução de esforço, a deformação que ocorre nas estruturas envolvidas pode levar a um ótimo nível de formação e uma inibição da reabsorção que ocorre dentro do ciclo de remodelação óssea normal. Por outro lado, Menkes *et al.*⁽¹⁸⁾ verificaram que o aumento na DMO deve-se à estimulação da formação óssea e não pela atenuação da reabsorção que ocorre nesse tecido. Andreoli *et al.*⁽¹⁵⁾ complementam essa teoria sugerindo que, em nível celular, o processo de remodelação induzido pela sobrecarga, seja realizado pela ação dos osteócitos, que atuam como receptores mecânicos do estresse aplicado, e liberam um fator químico estimulador da proliferação de osteoblastos no local estressado.

A maior atividade dos osteoblastos, células responsáveis pela formação óssea⁽¹⁸⁾, ou dos osteoclastos, células responsáveis pela reabsorção óssea⁽⁴⁾, pode ser sugerida pelo aumento das concentrações circulantes ou urinárias de substâncias secretadas por essas células. Essas substâncias vêm sendo utilizadas como marcadores bioquímicos da remodelação óssea e suas concentrações têm sido mensuradas em indivíduos atletas ou submetidos a algum método de treinamento físico para avaliar um eventual efeito na remodelação óssea^(6,7,17,18).

Entre os marcadores de formação óssea estão a fosfatase alcalina óssea específica^(13,18), que é secretada pelos osteoblastos e hidrolisa ésteres de fosfato, o que provavelmente está envolvido no processo de calcificação⁽⁴⁾, e a osteocalcina ou proteína Gla, cuja síntese aumenta quando ocorre maior calcificação do tecido. Entretanto, existe uma discrepância quanto à sua utilização. Alguns pesquisadores, a exemplo de Creighton *et al.*⁽¹⁾, observaram a osteocalcina como marcador de formação óssea, enquanto outros autores utilizaram essa substância com marcador da própria atividade de remodelação^(7,13).

Entre os marcadores de reabsorção óssea estão a deoxipiridinolina livre (expressa em razão da creatinina urinária)⁽⁷⁾, a fosfatase ácida tartarato-resistente circulante⁽¹⁸⁾, a hidroxiprolina (expressa em razão da creatinina urinária)⁽¹³⁾, os telopeptídeos das ligações cruzadas do colágeno tipo I, de terminal amino (NTx)⁽¹⁾ ou carboxi (CTX) urinários⁽²⁾, entre outras ligações cruzadas de piridinolina circulantes⁽³⁾, sendo todas essas substâncias subprodutos da reabsorção do colágeno ósseo.

As regiões com maior quantidade de osso trabecular, a exemplo da coluna lombar, normalmente respondem melhor ao exercício, possivelmente por serem metabolicamente mais ativas^(11,13,18). Por outro lado, regiões com maior quantidade de osso cortical, a exemplo do fêmur, também apresentam resposta de aumento na DMO ao exercício^(3,17,18). Esse efeito da atividade física na DMO geralmente ocorre especificamente nos locais que suportam o estresse^(15,28,29), embora Rickli e Mcmanis⁽¹⁴⁾ tenham observado um efeito sistêmico da atividade física na DMO.

Embora a atividade física possa influenciar positivamente a remodelação óssea, o processo bioquímico responsável por esse efeito não é totalmente claro e outros fatores podem mediar os efeitos do treinamento físico na saúde óssea, entre esses a nutrição, a genética do indivíduo e a homeostase hormonal⁽¹⁵⁾. Isso pode ser sugerido devido à existência de estudos que não apresentaram aumento da DMO com o exercício físico^(2,7).

2. O EFEITO DELETÉRIO DO EXERCÍCIO NA SAÚDE ÓSSEA E OS ASPECTOS HORMONAIS RELACIONADOS

Os hormônios sexuais femininos (i.e. estrogênio, progesterona) possuem influência no metabolismo ósseo por estimular a ativi-

dade osteoblástica. Essa ação é sugerida pela existência de receptores estrogênicos nessas células (Vandershueren *apud* Maimoun *et al.*)⁽⁵⁾. Além disso, o estrogênio inibe algumas citocinas, responsáveis pela proliferação de osteoclastos⁽⁴⁾. Em estudo realizado por Helge e Kanstrup⁽¹⁰⁾, a concentração de progesterona foi altamente relacionada com a DMO de ginastas rítmicas e artísticas ($r = 0,93$, $p < 0,01$), o que indica uma associação desse hormônio com a DMO dessas atletas.

Embora o nível de atividade física seja uma variável positivamente relacionada com valores altos de DMO^(1,15), o treinamento de *endurance* de alto rendimento, segundo Gremion *et al.*⁽²⁴⁾, pode levar a uma perda óssea prematura devido aos efeitos na homeostase dos hormônios sexuais femininos e conseqüente amenorréia secundária, cujo quadro clínico é caracterizado por um número diminuído de ciclos menstruais⁽⁶⁾. Esse efeito é semelhante ao que ocorre em mulheres pós-menopáusicas, em que a baixa concentração de hormônios sexuais implica uma perda óssea acentuada e conseqüente osteoporose^(5,7).

Com relação às mulheres atletas, uma das causas sugeridas para o processo de perda óssea com o treinamento intenso de *endurance*, é o baixo nível de substrato para a síntese de estrogênio (i.e. gordura corporal)⁽⁴⁾. Segundo Burrows *et al.*⁽⁶⁾, a perda óssea, nesse caso, ocorre devido a um déficit calórico, e uma dieta nutricional adequada poderia evitar esses distúrbios hormonais em atletas do sexo feminino. Por outro lado, Maimoun *et al.*⁽⁵⁾ sugerem que essa baixa produção hormonal, que ocasiona a osteopenia, é conseqüência da supressão do eixo hipotalâmico-hipofisário-gonadal decorrente do exercício de alta intensidade, sugerindo o efeito em mecanismos centrais e periféricos de inibição hormonal.

O comportamento da DMO frente à baixa produção hormonal aparenta ser diferente entre algumas modalidades que apresentam estímulos de sobrecarga desiguais⁽¹⁰⁾. Frost *et al.*, *apud* Helge e Kanstrup⁽¹⁰⁾, propuseram um modelo teórico que sugere que quanto menor for a concentração de estrogênio no organismo, maior deve ser o estímulo mecânico para manter a DMO normal. De fato, comparadas com mulheres sedentárias, corredoras de longa distância amenorréicas e oligoamenorréicas possuíam baixa DMO⁽²⁴⁾, o que não foi constatado em ginastas rítmicas e artísticas oligoamenorréicas, que possuíam essa variável significativamente maior que o grupo não ativo fisicamente⁽¹⁰⁾. Provavelmente isso tenha ocorrido pelo fato de que a carga aplicada nas articulações, imposta por alguns saltos das ginastas, é muito maior nessa modalidade do que a carga imposta durante a corrida.

Gremion *et al.*⁽²⁴⁾ sugerem que a terapia de reposição hormonal (TRH) ou a utilização de contraceptivos com estrogênio na composição são necessários em atletas com quadro clínico de amenorréia. De fato, esses autores observaram que a DMO de corredoras que utilizavam contraceptivos era significativamente maior do que nas atletas que não os utilizavam. Por outro lado, o benefício na DMO pela utilização de contraceptivos é questionado por Burrows *et al.*⁽⁶⁾, que não encontraram nenhuma associação entre a utilização de contraceptivos orais e a DMO de corredoras em seus resultados. Com relação à TRH, sua associação com a atividade física já demonstrou ser efetiva na manutenção⁽⁷⁾ ou aumento^(30,31) da DMO em mulheres idosas. Contudo, o risco-benefício da TRH deve ser avaliado, já que sua utilização também pode acarretar alguns prejuízos à saúde⁽⁴⁾ que não serão abordados nesta revisão.

Embora exista uma estreita relação entre a homeostase dos hormônios sexuais e a DMO em mulheres^(6,24), nos homens essa relação não é muito clara. Colvard *et al.*, *apud* Maimoun *et al.*⁽⁵⁾, demonstraram que a ação dos androgênios na remodelação óssea dos homens é mediada por receptores específicos para esses hormônios, encontrados nos osteoblastos. Todavia, Maimoun *et al.*⁽⁵⁾ observaram um efeito benéfico do treinamento físico na DMO de triatletas que possuíam baixa concentração de hormônios androgênicos. Ryan *et al.*⁽¹⁷⁾ não acharam nenhuma associação entre os níveis de testosterona circulante e a variação de DMO ocorrida

após um treinamento de força, aplicado em homens idosos. Todavia, segundo Ryan *et al.*⁽¹⁷⁾, níveis circulantes de testosterona não necessariamente refletem a ação desse hormônio em nível celular. Já Maimoun *et al.*⁽⁵⁾ sugerem que outros fatores podem ser determinantes na massa óssea, principalmente quando as concentrações hormonais se encontram dentro de uma variação fisiológica normal.

Neste sentido, embora exista um efeito fortalecedor ósseo em atividades físicas de maior sobrecarga, o treinamento intenso pode acarretar baixa produção hormonal e seus efeitos negativos na saúde óssea axial, principalmente em mulheres, não podem ser subestimados.

3. OS EFEITOS DA PRÁTICA DE ALGUMAS MODALIDADES ESPORTIVAS NA DMO

O efeito osteogênico causado pela prática de exercícios que utilizam como sobrecarga o peso corporal ou com grande produção de força muscular^(19,23) tem sido sugerido, já que atletas envolvidos com esportes com essa característica possuem maior DMO do que a população em geral^(1,23). Existem algumas indicações de que esses tipos de esportes sejam mais benéficos para a saúde óssea do que esportes com menor ou nenhuma sobrecarga⁽¹⁹⁾. No entanto, os autores que observaram esse efeito^(1,10,12,15,19,23,28) salientam que a transversalidade dos estudos que comparam indivíduos praticantes de diversas modalidades esportivas com indivíduos menos fisicamente ativos pode ser uma limitação que influencie em seus resultados.

No quadro 1, são apresentados alguns resultados dos estudos que avaliaram o efeito da prática de diversas modalidades esportivas na DMO. Esses resultados permitem sugerir que algumas possuem um efeito estimulador da remodelação do tecido ósseo quando o mesmo é submetido cronicamente a um esforço que excede a sobrecarga habitual⁽¹⁵⁾. Esse efeito parece estar relacionado com a magnitude da sobrecarga imposta durante o exercício⁽¹⁾, e principalmente ao local específico em que a sobrecarga é imposta⁽¹⁵⁾. Isso permite estimular a prática de modalidades esportivas, com maior sobrecarga ocasionada pelo peso corporal^(1,19), ou com maior utilização de força muscular⁽¹⁵⁾, como possíveis ferramentas para a prevenção da perda óssea e da conseqüente osteoporose, além de outros benefícios não abordados nesta revisão.

4. O TREINAMENTO DE FORÇA E A DMO

O treinamento de força (TF) vem sendo apontado como uma das atividades físicas que resultam em osteogênese^(3,8,18,21,22,32-34).

Existem, entretanto, muitos pontos de discussão a respeito de qual método de TF seria o mais eficaz, levando em consideração os exercícios, a intensidade e o período necessário para se obter a resposta óssea. Além disso, as diferenças entre as características dos indivíduos são fatores que podem levar à inconsistência dos resultados quanto à eficácia do TF em influenciar favoravelmente o *status* ósseo⁽¹³⁾. Isso pode ser constatado, já que indivíduos com altos níveis de DMO aparentam não responder facilmente ao estímulo osteogênico do TF^(3,7). Contudo, a resposta óssea ao TF parece ocorrer tanto em jovens e em idosos, tanto do sexo masculino como do sexo feminino⁽⁸⁾.

O mecanismo para o aumento da DMO através do TF passa pela magnitude da deformação óssea causada durante essa atividade. De fato, maiores intensidades de treino relativas à carga máxima geralmente estão associadas a maiores estímulos para o aumento na DMO, do que menores intensidades^(3,13,17,18,22,35). Além disso, a utilização de maiores intensidades de treinamento implica respostas mais imediatas na DMO⁽³⁾.

Comparativamente a outras modalidades esportivas, como por exemplo a corrida, atividade de conhecido efeito osteogênico^(5,24), a prática do TF aparenta ter um maior estímulo ao aumento da

<p>QUADRO 1 Os efeitos da prática de algumas modalidades esportivas na densidade mineral óssea</p>			
Autor	Modalidade esportiva	Amostra	Resultados
Madsen <i>et al.</i> ⁽¹⁹⁾	Ginástica artística, futebol, voleibol, atletismo e <i>cross-country</i>	Mulheres entre 18 e 26 anos, atletas ou sedentárias	DMO total, lombar, femoral e CMO maior nas atletas.
Sandström <i>et al.</i> ⁽²⁹⁾	Hóquei no gelo	Mulheres entre 18 e 26 anos, atletas ou sedentárias	DMO total, lombar e femoral maior nas jogadoras de hóquei.
Morris <i>et al.</i> ⁽³³⁾	Remo	Mulheres entre 15 e 25 anos, remadoras ou sedentárias	DMO lombar maior nas remadoras.
Creighton <i>et al.</i> ⁽¹⁾	Esportes de alta sobrecarga gravitacional (vôlei e basquete), média (futebol e corrida) e nenhuma (natação)	Mulheres entre 18 e 26 anos, atletas ou sedentárias	Maior DMO total e femoral no grupo de alta sobrecarga do que os demais. Maior DMO total e femoral no grupo de média sobrecarga do que nos grupos de nenhuma sobrecarga e controle.
Andreoli <i>et al.</i> ⁽¹⁵⁾	Judô, caratê e pólo aquático	Homens entre 18 e 25 anos, atletas ou sedentários	Maior DMO de braços em judocas em relação aos outros. Maior DMO de pernas em caratê em relação ao pólo e grupo controle. Maior DMO de tronco e CMO nos grupos judô e caratê.
Gremion <i>et al.</i> ⁽²⁴⁾	Corredoras de longa distância	Mulheres entre 19 e 31 anos, corredoras com e sem distúrbios menstruais	DMO lombar menor em corredoras oligoamenorréicas do que eumenorréicas e corredoras usuárias de contraceptivos com estrogênio.
Helge e Kanstrup ⁽¹⁰⁾	Ginástica artística e ginástica rítmica	Mulheres entre 15 e 20 anos, atletas ou sedentárias	DMO lombar, radial e femoral maior nas ginastas artísticas e DMO lombar maior nas ginastas rítmicas do que no grupo controle.
Maimoun <i>et al.</i> ⁽⁵⁾	Triatlo, ciclismo e natação	Homens entre 18 e 39 anos, atletas ou fisicamente ativos	DMO femoral dos triatletas maior que o grupo controle.

DMO: densidade mineral óssea; CMO: conteúdo mineral ósseo.

<p>QUADRO 2 O treinamento de força e a densidade mineral óssea</p>				
Autor	Período	Método, intensidade e volume	Amostra	Resultados
Rickli e McManis ⁽¹⁴⁾	10 meses	Ginástica aeróbica vs. TF (3x/sem. – intensidade não informada)	Mulheres entre (57 e 83 anos)	Aumento de 1,38% do CMO nos grupos de treino; diminuição de 2,5% dessa variável no grupo controle.
Peterson <i>et al.</i> ⁽³⁵⁾	1 ano	Ginástica aeróbica vs. TF (8 a 12 repetições, 3x/sem. – intensidade não informada)	Mulheres entre 36 e 67 anos	Nenhum aumento, porém o grupo de TF teve o CMO do rádio maior que o grupo de ginástica após o treinamento.
Pruitt <i>et al.</i> ⁽¹³⁾	9 meses	TF (15 a 10 RM, periodizado, 3x/sem.)	Mulheres (54 anos em média)	Aumento de 1,6% na DMO lombar; diminuição de 3,6% no grupo controle.
Menkes <i>et al.</i> ⁽¹⁸⁾	16 semanas	TF com série decrescente (5 – 15RM), 3x/sem.	Homens entre 50 e 70 anos	Aumento de 2 e 3,8% na DMO lombar e colo femoral respectivamente.
Ryan <i>et al.</i> ⁽¹⁷⁾	16 semanas	Idem ao de Menkes <i>et al.</i> , 1993	Homens entre 51 e 71 anos	Aumento de 2,8% na DMO do colo femoral.
Hawkins <i>et al.</i> ⁽³²⁾	18 semanas	TF concêntrico vs. excêntrico em extensores e flexores do joelho	Mulheres entre 20 e 23 anos	Somente o TF excêntrico aumentou a DMO do fêmur em 3,9%.
Humphries <i>et al.</i> ⁽⁷⁾	24 semanas	TF com e sem TRH (50-80% de 1RM) vs. Caminhada com e sem TRH	Mulheres entre 45 e 65 anos	Nenhum aumento, porém caminhada s/ TRH diminuiu a DMO em 1,3%.
Bemben <i>et al.</i> ⁽²⁾	24 semanas	TF 40% 1RM X 16 rep. vs. TF 80% 1RM X 8 rep, 3x/sem.	Mulheres entre 41 e 60 anos	Sem aumento em nenhum dos grupos.
Kerr <i>et al.</i> ⁽²²⁾	2 anos	TF de 3 a 8RM, vs. Grupo de ginástica aeróbica, 3x/sem.	Mulheres pós-menopáusicas	Aumento na DMO intertrocantérica (1%) no grupo de TF.
Kemmler <i>et al.</i> ⁽¹¹⁾	14 meses	TF periodizado entre 50 e 90% 1RM, 2x/sem. + exercícios com saltos	Mulheres entre 50 e 58 anos	Aumento na DMO lombar de 1,3% no grupo de treino e diminuição na DMO lombar e femoral no grupo controle.
Nichols <i>et al.</i> ⁽³³⁾	15 meses	TF com 3 séries de 10 RM, 3x/sem.	Mulheres entre 14 e 17 anos	Aumento na DMO do colo femoral no grupo de treino.
Vincent e Braith ⁽³⁾	24 semanas	TF 50% 1RM X 15 rep. vs. TF 80% 1RM X 8 rep. (3x/sem.)	Homens e mulheres entre 60 e 83 anos	Aumento na DMO do colo femoral para o grupo de maior intensidade em 1,96%.
Cussler <i>et al.</i> ⁽³⁰⁾	1 ano	TF periodizado com 70 a 80% de 1RM, 3x/sem.	Mulheres entre 44 e 66 anos	Aumento na DMO do colo femoral.
Jessup <i>et al.</i> ⁽²¹⁾	32 semanas	TF periodizado de 50 a 75% de 1RM, 3x/sem.	Mulheres entre 66 e 72 anos	Aumento na DMO do colo femoral (1,7%).
Villareal <i>et al.</i> ⁽³⁴⁾	9 meses	TF periodizado, de 65 a 85% de 1RM, 2-3 séries + ginástica aeróbica, 3x/sem.	Mulheres entre 75 e 87 anos	Aumento na DMO lombar (3,5%).
Brentano <i>et al.</i> ⁽²⁰⁾	24 semanas	TF (35 – 80% 1RM) vs. TF em circuito (35-60% 1 RM), (3x/sem.)	Mulheres entre 56 e 71 anos.	Sem aumento em nenhum dos grupos.
Ryan <i>et al.</i> ⁽¹⁷⁾	24 semanas	TF de 12 a 15 RM, 3x/sem.	Homens e mulheres entre 20 e 74 anos	Aumento na DMO do colo femoral, trocanter maior e triângulo de Ward, e CMO total e da perna.

DMO: densidade mineral óssea; CMO: conteúdo mineral ósseo; RM: repetição máxima; TRH: terapia de reposição hormonal; TF: treinamento de força; Rep.: repetições; Vs.: versus; x/sem.: sessões semanais.

massa óssea em locais anatômicos onde ambos tipos de atividade física resultam em estresse mecânico, a exemplo do colo femoral^(3,5,24). Pode-se sugerir que isso ocorra devido à relação existente entre DMO com o nível de força muscular^(3,15,19,25,36), principal valência física incrementada com o TF, além da grande janela de ganho de força, principalmente em indivíduos não treinados⁽³⁷⁾, o que possibilita a aplicação de sobrecarga crescente propiciada por esse tipo de treinamento. Por outro lado, a sobrecarga imposta pela corrida é decorrente do peso corporal e, sendo assim, é constante ao longo do tempo. Embora possa haver maior número de estímulos durante a corrida, estudos demonstraram que a magnitude do estímulo é mais importante que a frequência do mesmo^(1,6,27,33).

Outro aspecto que pode ser levado em consideração na prescrição ideal do tipo de TF com objetivo de estímulo à formação óssea é o tipo de contração muscular utilizado. Sendo assim, partindo-se da relação existente entre a força muscular e a DMO^(2,3), é razoável imaginar que o TF excêntrico, caracterizado por maior produção de força que o TF concêntrico⁽³⁸⁻⁴⁰⁾, poderia promover um maior estímulo osteogênico. De fato, em estudo comparando o TF excêntrico e concêntrico com a mesma carga relativa, o TF excêntrico demonstrou ser mais efetivo no aumento da DMO⁽³²⁾.

O quadro 2, demonstra resumidamente a metodologia e os resultados de alguns estudos que utilizaram diferentes métodos de TF, além da combinação entre o TF e outros tipos de atividade física, e com a TRH, com o objetivo de investigar os efeitos desses tipos de treinamento na DMO. A aplicabilidade desses resultados é muito importante para determinação do melhor estímulo à formação óssea, o que pode servir para prevenção de fraturas principalmente em mulheres idosas pós-menopáusicas, que possuem maior incidência de osteoporose^(5,20).

5. ATIVIDADE FÍSICA E OS MARCADORES BIOQUÍMICOS DO METABOLISMO ÓSSEO

Alguns pesquisadores têm utilizado, além de métodos densitométricos, a análise de alguns marcadores do metabolismo ósseo para avaliar os efeitos da atividade física na remodelação óssea, buscando alguma relação entre as mudanças encontradas na DMO e a variação nas concentrações sanguíneas ou urinárias desses

marcadores^(1,7,8,18). Esse método vem sendo utilizado como um recurso dinâmico de avaliação da relação exercício vs. saúde óssea⁽¹⁾.

Vincent e Braith⁽³⁾ demonstraram haver relação entre as mudanças nas concentrações dos marcadores do metabolismo ósseo e as mudanças densitométricas observadas, havendo inclusive relação entre a intensidade de treinamento e magnitude de aumento nos marcadores de formação óssea. Esses autores, entre outros estudos^(1,18), observaram maior resposta dos marcadores de formação óssea a maiores intensidades de treino.

Entretanto, além das variações diárias de alguns marcadores⁽¹⁷⁾, da discrepância em sua utilização^(3,7) e das diferentes respostas desses marcadores a metodologias de estudos semelhantes^(17,18), os resultados da variação dos marcadores bioquímicos nem sempre acompanham as mudanças que ocorrem na DMO com o período de treinamento⁽¹⁷⁾. Por outro lado, existe a possibilidade de ocorrer aumento na concentração desses marcadores sem nenhuma resposta da DMO⁽¹³⁾. Pruitt *et al.*⁽¹³⁾ sugerem que o aumento na concentração dos marcadores de formação óssea pode ser uma adaptação precursora ao aumento na DMO. Contudo, outra limitação que ocorre com a utilização desse método, é que a resposta dos marcadores pode representar uma média da remodelação óssea corporal total e não dos locais que sofrem maior sobrecarga durante a atividade física. Devido a essas limitações, conclusões definitivas a respeito da influência do treinamento de força ou de diferentes modalidades esportivas na remodelação óssea avaliadas por esse método ainda carecem de mais estudos.

No quadro 3, são apresentados alguns estudos que utilizaram os marcadores bioquímicos do metabolismo ósseo para avaliação dos efeitos da atividade física na DMO. Entretanto, devido às aparentes limitações e discrepâncias observadas, mais estudos se fazem necessários para chegada a algumas conclusões sobre os efeitos do exercício físico na remodelação óssea através desse método.

6. DMO, FORÇA MUSCULAR E COMPOSIÇÃO CORPORAL

Alguns estudos citados anteriormente nesta revisão, entre outros, têm buscado avaliar a associação entre a força muscular e a composição corporal com a DMO, já que, independentemente do tipo de atividade física realizada, aparenta existir uma relação en-

QUADRO 3
Atividade física e os marcadores bioquímicos do metabolismo ósseo

Autor	Modalidade/Período	Amostra	Marcadores utilizados	Resultados
Pruitt <i>et al.</i> ⁽¹³⁾	TF (15 a 10 RM, periodizado, 3x/sem.) durante 9 meses	26 mulheres (54 anos em média)	Formação: SAP Reabsorção: hidroxiprolina Remodelação: OC	Nenhum aumento observado.
Menkes <i>et al.</i> ⁽¹⁸⁾	TF com série decrescente (5 – 15RM), 3x/sem. durante 16 semanas	18 homens entre 50 e 70 anos	Formação: SAP e OC. Reabsorção: TrACP	Aumento nas concentrações de OC e SAP e na razão SAP/TrACP no grupo treinado.
Ryan <i>et al.</i> ⁽¹⁷⁾	Idem ao de Menkes <i>et al.</i> , 1993	37 homens entre 51 e 71 anos	Formação: SAP e OC. Reabsorção: TrACP	Nenhum aumento observado.
Bemben <i>et al.</i> ⁽²⁾	TF 40% 1RM X 16 rep. vs. TF 80% 1RM X 8 rep, 3x/sem., 24 semanas	Mulheres entre 41 e 60 anos	Formação: OC Reabsorção: CTx	Nenhum aumento observado.
Humphries <i>et al.</i> ⁽⁷⁾	TF c/ e s/ TRH (50-80% de 1RM) vs. Caminhada c/ e s/ TRH, durante 24 semanas	116 mulheres entre 45 e 65 anos	Remodelação: OC Reabsorção: doxipiridinolina	Aumento na OC no grupo de caminhada s/ TRH.
Creighton <i>et al.</i> ⁽¹⁾	Esportes de alta sobrecarga gravitacional (vôlei e basquete), média (futebol e corrida de média distância) e nenhuma (natação)	50 mulheres entre 18 e 26 anos, atletas ou sedentárias	Formação: OC Reabsorção: NTx	OC e a razão OC/NTx maior nos grupos de alta e média sobrecarga do que nos grupos de nenhuma e controle.
Vincent e Braith ⁽³⁾	TF 50% 1RM X 15 rep. vs. TF 80% 1RM X 8 rep. (3x/sem.), durante 24 semanas	84 homens e mulheres entre 60 e 83 anos	Formação: SAP e OC. Reabsorção: PYD	Aumento de OC, SAP e razão OC/PYD para os grupos de treino, sendo maior no de carga maior.

TF: treinamento de força; SAP: fosfatase alcalina óssea específica; OC: osteocalcina; TrACP: fosfatase ácida tartarato resistente; NTx: Telopectídeos de ligações cruzadas de colágeno tipo I com terminal amino; CTx: Telopectídeos de ligações cruzadas de colágeno tipo I com terminal amino; PYD: ligações cruzadas de piridinolina; RM: repetição máxima; TRH: terapia de reposição hormonal; TF: treinamento de força. Rep.: repetições; Vs.: versus; x/sem.: sessões semanais.

tre o desenvolvimento da força e da composição corporal e a DMO^(3,15,19,25,36). Geralmente esses estudos mostram correlações positivas, que variam em relação ao seu grau, e algumas discrepâncias têm surgido quanto à natureza dessas associações.

Segundo Hughes *et al.*⁽²⁵⁾, havendo relação entre força muscular e DMO, possivelmente a magnitude da contração muscular tenha impacto em locais ósseos relacionados anatomicamente com os músculos que realizam essa contração. Esses mesmos autores sugerem que o peso corporal pode ser um importante fator na determinação da DMO devido às forças de compressão aplicadas nos ossos que sustentam a sobrecarga corporal.

Por outro lado, Madsen *et al.*⁽¹⁹⁾ propõem que a composição do peso corporal, incluindo as massas magra e gorda, pode ser mais importante que o peso corporal individualmente, sugerindo que a gordura, por ser substrato para conversão de andrógenos para estrógenos⁽²⁶⁾, pode ser relacionada com a DMO tanto por fatores hormonais, devido à sua importância na regulação dos hormônios sexuais na DMO^(5,24), quanto por fatores mecânicos. Com relação à massa magra, essa pode ser relacionada à DMO porque, embora sejam estruturalmente independentes, ambas respondem aos mesmos estímulos de atrofia e hipertrofia⁽²⁵⁾.

Outro aspecto relevante, embora não muito claro, é que as associações entre DMO e composição corporal e/ou força muscular sofrem influência de fatores como gênero⁽³⁶⁾, nível de treinamento⁽²⁹⁾ e homeostase hormonal⁽¹⁰⁾.

Embora exista uma grande relação entre massa magra e força muscular^(37,41,42), associações entre a massa magra e a DMO não necessariamente refletem o relacionamento observado entre a força muscular e a DMO^(10,25,29). Hughes *et al.*⁽²⁵⁾ sugerem que a força seria um preditor independente da DMO, ao passo que Madsen *et al.*⁽¹⁹⁾ sugerem que essa variável seria consequência da massa magra e essa última seria mais associada à DMO.

Apesar dos diferentes pontos de vista entre alguns autores sobre qual variável (força ou massa magra) é mais relacionada com a DMO^(19,25), a maioria dos estudos citados nesse tópico investigou e encontrou alguma correlação da DMO com a força muscular e alguma variável da composição corporal (i.e. massa magra, massa gorda)^(10,19,25,29), o que sugere, portanto, que todas essas variáveis são fortemente relacionadas com a DMO, variando, assim, apenas o grau dessas associações. É apropriado salientar que existem estudos, citados na presente revisão, que apresentaram graus de correlação muito baixos entre a DMO, a força muscular e os componentes da composição corporal^(19,25), o que dificulta a chegada a uma conclusão partindo de seus resultados.

As diferenças observadas nas associações investigadas pelos estudos anteriormente citados aparentam existir devido a diferentes metodologias de avaliação. Além disso, outros fatores como regulação hormonal, nível de treinamento e o gênero parecem influenciar no grau dessas associações. Sendo assim, mais estudos talvez sejam necessários para determinar em qual tipo de população a composição corporal e a força muscular são mais associadas com a DMO, e se a força muscular é uma variável dependente ou não da massa magra, em sua associação com a DMO. Apesar das limitadas conclusões, altos níveis de DMO geralmente são associados com altos níveis de massa magra ou força muscular, o que sugere que um programa de treinamento físico com o objetivo de aumentar a massa magra e a força muscular pode ter um efeito benéfico na DMO.

7. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Embora fatores como genética, homeostase hormonal e alimentação possam ser determinantes na DMO⁽¹⁵⁾, o nível de atividade física parece ter importante influência nessa variável. Apesar do mecanismo fisiológico não ser inteiramente claro, a ação osteogênica da atividade física parece ser mediada via efeito piezoelétrico ósseo (Brighton *et al.* apud Menkes *et al.*⁽¹⁸⁾).

Alguns estudos demonstraram que indivíduos praticantes de modalidades esportivas com maior sobrecarga ocasionada pelo peso corporal, ou com maior utilização da força muscular possuem uma DMO maior quando comparados a pessoas sem o mesmo nível de atividade física^(1,5,15,16,19). O grau de adaptação óssea alcançado via exercício parece ser dependente da sobrecarga⁽²⁹⁾ e aparenta ser específico dos locais submetidos ao maior estresse^(15,28).

Em outros estudos, o efeito da atividade física na DMO foi investigado em indivíduos que foram submetidos ao TF, demonstrando essa intervenção ser efetiva para aumentar a DMO em alguns deles^(3,17), ao passo que, em outros, nenhuma diferença foi observada⁽²⁾. Essas discrepâncias podem ocorrer em virtude das diferentes metodologias de treinamento utilizadas por esses pesquisadores, ou mesmo devido às características da amostra (i.e. DMO inicial elevada)⁽¹³⁾. Entretanto, embora existam discussões a respeito de qual variável do treinamento seria a mais importante para o estímulo da remodelação óssea (i.e. intensidade, volume), o TF de maior intensidade parece ser o mais efetivo⁽³⁾.

Marcadores bioquímicos do metabolismo ósseo vêm sendo utilizados por alguns autores como um meio possivelmente mais dinâmico de avaliação dos efeitos do exercício físico no metabolismo ósseo⁽¹⁾. A variação encontrada nas concentrações dos marcadores possivelmente sejam precursoras de mudanças na DMO⁽³⁾. Nesse caso, a mensuração dessas concentrações se torna importante para avaliação de métodos de treinamento físico que visem o aumento da DMO, tendo em vista que a maior concentração dos marcadores de formação óssea pode sugerir uma efetividade de treino ainda não traduzida por valores densitométricos (g/cm²). Todavia, devido a diferenças encontradas nos resultados de alguns experimentos, mais estudos são necessários para a obtenção de uma avaliação mais acurada da remodelação óssea via marcadores bioquímicos.

Alguns estudos têm demonstrado uma forte relação da DMO com variáveis ligadas à saúde, como a força muscular^(10,29) e a composição corporal, sugerindo que, independentemente da atividade física praticada, indivíduos com maior força muscular e maior massa magra, podem possuir maior DMO, embora a gordura corporal também seja relacionada com a massa óssea, devido a fatores hormonais^(6,16,19). Contudo, mesmo com a existência dessas relações, o grau e a natureza das mesmas não são completamente esclarecidos, como demonstrado pela heterogeneidade nos resultados dos estudos citados na presente revisão^(10,19,25,29).

A determinação de qual o tipo de atividade física seja a ideal para aumentar o pico de massa óssea na adolescência, ou mesmo mantê-la após a idade adulta, é muito importante para a prevenção e o possível tratamento da osteoporose, cuja incidência ocorre principalmente em mulheres pós-menopáusicas⁽⁵⁾. Além disso, as associações da DMO com a força muscular e a composição corporal sugerem que a prescrição de um treinamento que vise melhorar esses parâmetros pode ter um efeito benéfico na DMO.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Creighton DL, Morgan AL, Boardley D, Brolinson PG. Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *J Appl Physiol* 2001;90:565-70.
2. Bemben DA, Fethers NL, Bemben MG, Nabavi N, Koh ET. Musculoskeletal responses to high- and low-intensity resistance training in early postmenopausal women. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1949-57.
3. Vincent KR, Braith RW. Resistance training and bone turnover in elderly men and women. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:17-23.
4. Ganong WF. *Fisiologia Médica*. 19ª rev. ed. São Paulo: McGraw Hill Companies, 1999.

5. Maimoun L, Lumbroso S, Manetta J, Paris F, Leroux JL, Sultan C. Testosterone is significantly reduced in endurance athletes without impact on bone mineral density. *Horm Res* 2003;59:285-92.
6. Burrows M, Nevill AM, Bird S, Simpson D. Physiological factors associated with low bone mineral density in female endurance runners. *Br J Sports Med* 2003;37:67-71.
7. Humphries B, Newton RU, Bronks R, Marshall S, McBride J, McBride TT, et al. Effect of exercise intensity on bone density, strength, and calcium turnover in older women. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1043-50.
8. Ryan AS, Ivey FM, Hurlbut DE, Martel GF, Lemmer JT, Sorkin JD, et al. Regional bone mineral density after resistive training in young and older men and women. *J Appl Physiol* 2004;14:16-23.
9. Heinonen A, Kannus P, Sievänen H, Pasanen M, Oja P, Vuori I. Good maintenance of high-impact activity-induced bone gain by voluntary, unsupervised exercises: an 8-month follow-up a randomized controlled trial. *J Bone Miner Res* 1999;14:125-8.
10. Helge EW, Kanstrup IL. Bone density in female gymnasts: impact of muscle strength and sex hormones. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:174-80.
11. Kemmler W, Engelke K, Lauber D, Weineck J, Hensen J, Kalender WA. Exercise effects on fitness and bone mineral density in early postmenopausal women: 1-year EFOPS results. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:2115-23.
12. Mackelvie KJ, McKay HA, Khan KM, Crocker PR. Life-style risk factors for osteoporosis in Asian and Caucasian girls. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1818-24.
13. Pruitt LA, Jackson RD, Bartels RL, Lehnhard HJ. Weight training effects on bone mineral density in early postmenopausal women. *J Bone Miner Res* 1992;7:179-85.
14. Rikli RE, McManis BG. Effects of exercise on bone mineral content in postmenopausal women. *Res Q Exerc Sport* 1990;61:243-9.
15. Andreoli A, Monteleone M, Van Loan M, Promenzio L, Tarantino U, De Lorenzo A. Effects of different sports on bone density and muscle mass in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:507-11.
16. Evans EM, Prior BM, Arnggrimsen SA, Modlesky CM, Cureton KJ. Relation of bone mineral density and content to mineral content and density of the fat free mass. *J Appl Physiol* 2001;91:2166-72.
17. Ryan AS, Treuch MS, Rubin MA, Miller JP, Nicklas BJ, Landis DM, et al. Effects of strength training on bone mineral density: hormonal and bone turnover relationships. *J Appl Physiol* 1994;77:1678-84.
18. Menkes A, Mazel S, Redmond RA, Koffler K, Libanati CR, Gundersen CM, et al. Strength training increases regional bone mineral density and bone remodeling in middle-aged and older men. *J Appl Physiol* 1993;74:2478-84.
19. Madsen KL, Adams WC, Van Loan MD. Effects of physical activity, body weight and composition, and muscular strength on bone density in young women. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:114-20.
20. Brentano MA. Efeitos do treinamento de força e do treinamento em circuito na força e ativação muscular, no consumo máximo de oxigênio e densidade mineral óssea de mulheres pós-menopáusicas com perda óssea. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 2004.
21. Jessup JV, Horne C, Vishen RK, Wheeler D. Effects of exercise on bone density, balance, and self-efficacy on older women. *Biol Res for Nurs* 2003;4:171-80.
22. Kerr D, Ackland T, Maslen B, Morton A, Prince R. Resistance training over 2 years increase bone mass in calcium-replete in postmenopausal women. *J Bone Miner Res* 2001;16:170-81.
23. Liu L, Maruno R, Mashimo T, Sanka K, Higuchi T, Hayashi K, et al. Effects of physical training on cortical bone at midtibia assessed by peripheral QCT. *J Appl Physiol* 2003;95:219-24.
24. Gremion G, Rizzoli R, Sloman D, Theintz G, Bonjour J-P. Oligo-amenorrheic long-distance runners may lose more bone in spine than in femur. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:15-21.
25. Hughes VA, Frontera WR, Dallal GE, Fischer EC, Evans WJ. Muscle strength and body composition: associations with bone density in older subjects. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:967-74.
26. Blain H, Vuillemin A, Guillemin F, Durant R, Hanesse B, De Talance N, et al. Serum leptin level is a predictor of bone mineral density in post menopausal women. *J Clin Endocrinol Metabol* 2002;87:1030-5.
27. Cullen DM, Smith RT, Akhter MP. Bone-loading response varies with strain magnitude and cycle number. *J Appl Physiol* 2001;91:1971-6.
28. Morris FL, Smith RM, Payne WR, Galloway MA, Wark JD. Compressive and shear force generated in the lumbar spine of female rowers. *Int J Sports Med* 2000;21:518-23.
29. Sandström P, Jonsson P, Lorentzon R, Thorsen K. Bone mineral density and muscle strength in female ice hockey players. *Int J Sports Med* 2000;21:524-8.
30. Cussler EC, Lohman TG, Going SB, Houtkooper LB, Metcalfe LL, Flint-Wagner HG, et al. Weight lifted in strength training predicts bone change in postmenopausal women. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:10-7.
31. Kohrt WM, Ehsani AA, Birge SJ Jr. HRT preserves increases in bone mineral density and reductions in body fat after a supervised exercise program. *J Appl Physiol* 1998;84:1505-12.
32. Hawkins SA, Schroeder T, Wiswel RA, Jaque SV, Marcell TJ, Costa K. Eccentric muscle action increases site specific osteogenic response. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1287-92.
33. Nichols DL, Sanborn CF, Love AM. Resistance training and bone mineral density in adolescent females. *J Pediatr* 2001;139:494-500.
34. Villareal DT, Binder EF, Yarasheski KE, Williams DB, Brown M, Sinacore DR, et al. Effects of exercise training added to ongoing hormone replacement therapy on bone mineral density in frail elderly women. *J Am Geriatr Soc* 2003;51:985-90.
35. Peterson SE, Peterson MD, Raymond G, Gilligan C, Checovich MM, Smith EL. Muscular strength and bone mineral density with weight training in middle-aged women. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:499-504.
36. Ribom E, Ljunggren O, Piehl-Aulin K, Ljunghall S, Bratteby LF, Smulson G, et al. Muscle strength correlates with total body bone mineral density in young women but not in men. *Scand J Med Sci Sports* 2004;14: 24-9.
37. Kraemer WJ, Fleck SJ, Evans WJ. Strength and power training: Physiological mechanisms of adaptation. *Exer Sport Sci Rev* 1996;24:363-97.
38. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol* 2000;89:2249-57.
39. Fleck SJ, Kraemer WJ. Fundamentos do treinamento de força muscular. 2ª rev. ed. Porto Alegre: ArtMed, 1997.
40. Hortobágyi T, Hill J, Houmard JA, Fraser DD, Lambert NJ, Israel RG. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J Appl Physiol* 1996;80:765-72.
41. Hickner RC, Mehta PM, Dyck D, Devita P, Houmard JA, Koves T, et al. Relationship between fat-to-fat-free mass ratio and decrements in the leg strength after downhill running. *J Appl Physiol* 2001;90:1334-41.
42. Roemich JN, Sinning WE. Weight loss and wrestling training: effects on nutrition, growth, maturation, body composition and strength. *J Appl Physiol* 1997; 82:1751-9.